

УДК 517.958; 612.014

С.М. Шанчуров
(S.M. Shanchurov)
УГЛТУ, Екатеринбург
(USFEU, Ekaterinburg)
В.В. Иванайский, А.В. Ишков
(V.V.Ivanaisky, A.V. Ishkov)
АлтГАУ, Барнаул
(ASAU, Barnaul)

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
ИНДУКЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН
(MODELLING OF INDUCTION HARDENING ENERGY PROCESSES
OF MACHINE PARTS)**

Разработана модель индукционного упрочнения деталей машин. Модель позволяет оценить производительность, качество наплавленного слоя, расход энергии от внешнего источника, выделение тепла в нагреваемых частях и их элементах.

Induction hardening model of machinery parts was developed. The model allows to evaluate its productivity, quality of built-up layer, power consumption from an external power source, heat emission in heated parts and their elements.

Количество рабочих органов, устанавливаемых на почвообрабатывающие машины различных типов и назначений, насчитывает более 600 наименований, которым необходимо упрочнения лезвийной поверхности. Выбор технологических параметров при индукционной наплавке, и в частности других методов упрочнения, требует проведения большого объема экспериментальной работы при высоких температурах. Численный эксперимент на ПК при наличии математической модели процесса в значительной мере позволяет сократить объем экспериментальных работ, проводимых с целью определения оптимальных параметров индукционной наплавки. Разработка математической модели процесса индукционной наплавки позволяет оптимизировать режимы наплавки и создать новые технологии, а также расширить номенклатуру наплаваемых деталей.

Алгоритм расчета электротепловых процессов в модели при известном начальном распределении температуры заключается в следующем:

- исходя из имеющегося температурного поля, находят удельное электрическое сопротивление и магнитную проницаемость в каждом дискретном элементе области загрузки;
- исходя из положения деталей, определяем распределение тепловых источников в них по длине индуктора;

- для каждого дискретного элемента загрузки определяем функции внутренних тепловых источников и вычисляем температурное поле на текущем временном слое, определяемом шагом по времени;
- исходя из принятого закона перемещения изделий, фиксируем расположение деталей относительно индуктора на следующем временном слое;
- если критерии окончания процесса, определяемые технологом, например, достижение в заданной точке максимальной температуры, не удовлетворены, то происходит переход к первому пункту. В противном случае процесс вычислений прекращается.

Для каждого элемента считаем, что его магнитная проницаемость μ и удельное электрическое сопротивление s постоянны во всех точках на данном временном слое. Такое допущение можно обосновать тем, что глубина проникновения тока для стальных деталей на применяемых частотах не превышает 3 мм. В пределах этих величин изменение электрофизических свойств по глубине незначительно.

Частота тока в индукторе может быть принята постоянной для данного технологического процесса. Переменные s и μ должны на каждом временном слое определяться заново. Таким образом, функция глубины проникновения упростится и примет вид $\Delta(s, \mu)$. Для часто встречающегося на практике случая, когда глубина проникновения тока в материал детали меньше ее толщины более чем в 2,5 раза, могут быть применены формулы для плоской электромагнитной волны, падающей на полугограниченное металлическое тело с плоской поверхности [1].

Для расчета температурного поля в дискретных элементах области загрузки решали третью краевую задачу теплопроводности для гомогенной изотропной среды.

Задача может быть решена методом разделения переменных представлением искомого решения в виде ряда Фурье по собственным функциям задачи Штурма-Лиувилля с граничными условиями III рода [2].

Связь электромагнитного поля с температурным полем обусловлена зависимостью удельного сопротивления и магнитной проницаемости от температуры. Эта связь в модели поддерживается специальным порядком построения функций источников.

В рассматриваемой модели технологического процесса при решении тепловой части задачи существует и возможность учета влияния аллотропических превращений, происходящих в стали в процессе нагрева. Это можно сделать специальным выбором функций источников на каждом временном слое. Влияние аллотропических превращений на изменение глубины проникновения тока и на зависимость удельной мощности от напряжения на индукторе учитывается в электрической части задачи при проведении расчета индуктора. Расчет самого индуктора в данной работе не рассматривается.

Результаты расчетов показали, что предлагаемая модель процесса индукционного упрочнения деталей почвообрабатывающих машин позволяет оценивать его: производительность, качество наплавленного слоя, потребление энергии от внешнего источника питания, выделение тепла в нагреваемых деталях и их элементах, что позволяет подбором управляемых технологических параметров оптимизировать процесс.

Анализ расчетных и экспериментальных данных показал, что для рассматриваемого случая индукционного упрочнения плоской стрельчатой лапы культиватора С.1.7 сплавом ПС-14-60, предложенная модель адекватно описывает температурные поля на поверхности детали, отклонение расчетных и экспериментальных значений технологических параметров не превышает 15 %.

Предлагаемая модель может применяться и при разработке других технологических процессов индукционного упрочнения, например, лемехов, стрельчатых лап, ножей, дисков, долот и пр.

Библиографический список

1. Немков В.С., Демидович В.Б. Теория и расчет устройств индукционного нагрева. Л.: Энергоиздат; Ленинградское отд-ние, 1988. 375 с.
2. Карташов, Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел: учеб. пособие. 2-е изд. М.: Высшая школа, 1985. 155 с.